Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Ingeniería Agronómica

Proyecto Especial de Graduación

Efecto de los reguladores de crecimiento en la multiplicación *in vitro* de plátano (*Musa × paradisiaca L.*): Revisión de Literatura

Estudiante

Roberto Mario Valle Torres

Asesoras

María Alexandra Bravo, M.Sc.

Cinthya Martínez, MAE

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA
Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA
Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO
Director Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO
Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros....4

Resumen....5

Abstract....6

Introducción....7

Metodología....9

Revisión de Literatura....10

Establecimiento *in vitro*....10

Multiplicación *in vitro* de Plátano....11

Reguladores de Crecimiento en Micropropagación de Plátano....11

Citoquininas en la Multiplicación *in vitro* de Plátano....12

Auxinas en la Multiplicación de Plátano....14

Giberelinas....15

Brasinoesteroides....16

Organogénesis Directa a Partir de Meristemos....17

Medios de Cultivo para Multiplicación *in vitro* de Plátano....18

Conclusión....21

Recomendación....22

Referencias....23

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Efecto de fitohormonas en el número de brotes por explante en genotipo de plátano cultivados in vitro. 13

Cuadro 2 Medio de cultivo Murashige y Skoog modificado para la multiplicación in vitro de plátano. 19

Cuadro 3 Medio de cultivo Krikorian y Cronauer modificado para la multiplicación in vitro de plátano. 20

Resumen

El plátano (*Musa × paradisiaca L.*), es una de las frutas tropicales más importantes a nivel mundial, siendo esta una parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales. El plátano no produce semillas, por lo cual se reproduce de manera vegetativa, no obstante, en los últimos años se implementó la práctica de multiplicación *in vitro* la cual consiste en la producción de una planta en un ambiente artificial controlado con un medio de cultivo con el propósito de obtener plantas con las características similares a la planta que donó los explantes. El objetivo de esta revisión de literatura fue conocer la importancia de los reguladores de crecimiento en la multiplicación *in vitro* de plátano. La revisión se realizó entre el mes de enero y julio del año 2021, la información fue obtenida mediante artículos científicos sobre la multiplicación *in vitro* del plátano, usando información a partir de los últimos 30 años, haciendo énfasis en la información de años actuales. El uso de reguladores de crecimiento es fundamental para la multiplicación *in vitro* del plátano, haciendo énfasis en las citoquininas (BAP) que inducen más brotes por explante, con una dosis de 3 a 5 mg/L dependiendo el genotipo cultivado.

Palabras clave: citoquininas, cultivo *in vitro,* reguladores de crecimiento, platano, genotipo.

Abstract

The banana (*Musa* × *paradisiaca* L.) is one of the most important tropical fruits worldwide, being an essential part of the daily diet for the inhabitants of more than one hundred tropical countries. The banana is a plant incapable of producing seeds, which is why it is limited in reproducing vegetatively, however, in recent years the practice of in vitro multiplication was implemented, which consists of the production of a plant in an artificial environment. controlled with a culture medium in order to obtain plants with similar characteristics to the plant that donated the explants. The objective of this literature review was to know the importance of growth regulators in the in vitro multiplication of plantain. The review was carried out between the month of January and July of the year 2021, the information was obtained through scientific articles on the in vitro multiplication of the banana, using information from the last 30 years, emphasizing the information of current years. The use of growth regulators is essential for the in vitro multiplication of plantain, with emphasis on cytokinins (BAP) that induce more shoots per explant, with a dose of 3 to 5 mg / L depending on the cultured genotype.

Keywords: Cytokinins, growth regulators, *in vitro tissue culture*, plantain.

Introducción

El plátano (*Musa × paradisiaca L.*), es una de las frutas tropicales más importantes a nivel mundial, según la FAO en el 2018 el mayor exportador de plátano es India, seguido de China, Ecuador, Brasil e Indonesia (FAO 2018). El plátano es una fruta importante debido a que esta forma parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales; también brinda una gran fuente de empleos e ingresos a todos aquellos que se dedican a producir este cultivo (Álvarez Morales et al. 2020).

El plátano pertenece a la familia de las Musáceas, el origen de la planta es en la península Malaya, en cambio, el origen comercial se dio en las Islas Canarias de España (Belalcázar Carvajal 1991). Alrededor del mundo hay 5.8 millones de hectáreas cultivadas de plátano, las cuales produjeron 39 millones de toneladas de frutos frescos (FAO 2018).

El plátano es una planta que no produce semillas, por lo cual se propaga de manera vegetativa también conocida como convencional o tradicional (Staver y Lescot 2015). La planta produce un material vegetativo conocido como colinos, cormos, hijos o cepas; es la principal vía para la transmisión de las características genéticas deseables, no obstante, también es un método de diseminación de plagas y enfermedades (Gomez y Palencia 2006). (Palencia et al. 2006) La propagación tradicional trata del uso de cormos y resembrarlos o dejarlos crecer para que sean hijos de la planta, y poder continuar su producción. Actualmente se está implementando otro método de propagación, La micropropagación *in vitro*, esta propagación permite la obtención plántulas sanas, vigorosas y de buena calidad; consiste en tomar una porción de una planta y colocarla en un medio nutritivo estéril donde se regeneran una o muchas plantas, también debe tener control del ambiente, tanto físico como químico (Castillo 2004).

La micropropagación de plátano consiste en la producción de plántulas con las características similares a la planta que donó los explantes y plantas sanas, los primeros trabajos de producción *in vitro* del plátano fueron realizados en 1980. Los medios de cultivo incluyen distintas sales minerales,

una fuente de carbono, un suplemento vitamínico la dotación especifica de los reguladores de crecimiento (Galan et al. 2018). Se pueden obtener desde 500 a 1000 plantas de un solo meristemo, no obstante actualmente mediante una propagacion masiva, se puede obtener mínimo 1000 plantas, debido a los diversos reguladores de crecimiento que se emplean.

Una fitohormona es un compuesto que produce una planta, la cual ejerce su función a muy bajas concentraciones y cuyo efecto se produce a nivel celular, ejerciendo cambios en los patrones de crecimiento de los tejidos vegetales y permitiendo su control. Las principales fitohormonas son: citoquinas, auxinas, giberelinas, brasinoesteroides y etileno (Alcantara y Acero 2019). No obstante, en la propagación in vitro se usan reguladores de crecimiento, los cuales son compuestos sintetizados químicamente por la planta, y la mayoría proviene de otros organismos, por lo general son más potentes que sus análogos naturales llamado fitohormonas.

Actualmente en el mercado hay una gran variedad de fitohormonas con el fin de inducir crecimiento y desarrollo según el objetivo de la propagación. En el cultivo *in vitro* de plátano, las más comunes son, 6-bencilaminopurina (BAP), Ácido 1-naftalenacético (ANA) y Ácido indolacético (AIA) y Kinetina (Alcantara y Acero 2019).

El objetivo de esta revisión de literatura fue conocer la importancia de los reguladores de crecimiento en la multiplicación *in vitro* de plátano

Metodología

La revisión se realizó entre el mes de enero y julio del año 2021, la información fue obtenida de artículos científicos sobre la multiplicación *in vitro* del plátano. Las bases de datos que se usaron fueron Scielo, FAO, FAOSTAT, Research Gate y fueron seleccionadas debido a los resultados obtenidos, se usó información a partir de los últimos 30 años.

La biblioteca digital que se utilizó para la investigación fue la biblioteca Wilson Popenoe perteneciente a la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda rápida fueron: micropropagación de plátano, cultivo *in vitro*, plátano, multiplicación *in vitro*, reguladores de crecimiento, fitohormonas, micropropagation, multiplication.

Revisión de Literatura

La propagación *in vitro* permite la obtención de gran cantidad de material vegetativo sano y una producción homogénea. Recientemente se está empleando la propagación *in vitro* debido a que los productores desean obtener una buena planta con las características similares a la planta que donó los explantes, ya que estos siempre seleccionan las plantas las cuales han tenido un desempeño sobresaliente y así obtener una buena plantación, también para producir una planta sana.

Las etapas de la propagación *in vitro* son: Fase 0 recolección y preparación del material, Fase 1 establecimiento *in vitro*, Fase 2 multiplicación, Fase 3 enraizamiento y Fase 4 aclimatación.

Establecimiento *in vitro*

Para la propagación *in vitro* de plátano, el primer paso es la selección del material vegetativo, este es un factor que determina en muy buena la parte la calidad de las plantas que se producirán; para la selección se procede a hacer una clasificación de fincas, lotes y plantas, las fincas escogidas son las que poseen un buen manejo de cultivo, en otras palabras, un material sano el cual no haya sido atacado por virus, hongos o bacterias. Se debe escoger la planta madre de la que se obtienen los cormos o hijos que a su vez se usarán para extraer el meristemo apical, explante usado para la micropropagación. Por lo general los meristemos se extraen de los hijos de espada, los hijos de espada se distinguen por ser plantas pequeñas con hojas estrechas que terminan en forma de punta, y suelen emerger a la superficie a unos centímetros de la planta madre. Los cormos se reducen a un tamaño de 5 × 2 cm, se lavan con una solución jabonosa y se enjuagan con suficiente agua potable y luego se desinfectan con soluciones de hipoclorito de sodio (Alarcon Restrepo y Jimenez Neira 2012).

Después se establecen en el medio de cultivo, en el caso del plátano los medios de cultivo más usados son el de Murashige y Skoog (MS) y el de Krikorian y Cronauer (KC), enriquecidos con vitaminas y reguladores de crecimiento. Diversos estudios demuestran que los medios de cultivo MS y KC aumentan el índice de brotes por explantes en el plátano. El establecimiento dura 60 días y se debe realizar refrescamiento de medio de cultivo cada 21 días.

Multiplicación *in vitro* de Plátano

La multiplicación *in vitro* tiene como objetivo aumentar la cantidad de brotes para los nuevos ciclos de multiplicación, con el fin de producir la mayor cantidad de propágulos manteniendo a la estabilidad genética (Alarcon Restrepo y Jimenez Neira 2012).

El proceso de multiplicación *in vitro* involucra los cortes o separación cada 21-35 días de los brotes que se han desarrollado, la eliminación de tejidos fenolizados y la siembra de estos brotes individuales en medio de cultivo específicamente formulado para esta etapa. Durante la multiplicación se obtienen de 500 a 1000 brotes de cada meristemo de acuerdo con la variedad (Armenia Quindio 1997). Las tasas de multiplicación que se manejan alcanzan 1000 plantas de un meristemo, debido a los diversos reguladores de crecimiento que se emplean en el proceso de multiplicación lo cual acelera y mejora el rendimiento del explante (Castillo 2004).

Durante esta fase se trabaja en una cámara de flujo laminar para mantener condiciones de asepsia, se estima que los explantes que sobrevivieron a las fases de desinfección e introducción del material originen brotes de procedencia axilar. En cada frasco se forma un cormo que se desarrollará, y como se mencionó anteriormente de forma periódica los nuevos brotes se deben subcultivar (separar) y colocar en un medio de cultivo fresco para continuar la multiplicación (Castillo 2004).

Reguladores de Crecimiento en Micropropagación de Plátano

Las fitohormonas son compuestos sintetizados por la planta que ejercen su función con una concentración baja dando resultados a nivel celular, ayudan a la regulación fisiológica de la planta, como el crecimiento, desarrollo, elongación, floración, fructificación. Los principales reguladores de crecimiento usados para la propagación son: citoquinas, auxinas, giberelinas, brasinoesteroides. En la propagación *in vitro*, se usan los reguladores de crecimiento, estos son compuestos sintetizados químicamente, la mayoría son obtenidos de otros organismos y por lo general son mucho más potentes que sus análogos naturales llamados fitohormonas (Alcantara y Acero 2019).

Citoquininas en la Multiplicación *in vitro* de Plátano

Las citoquininas se descubrieron en 1950 como factores que promueven la proliferación celular y mantienen el crecimiento de tejidos vegetales cultivados *in vitro*, la primera citoquinina descubierta fue la zeatina proveniente del endoespermo inmaduro del maíz. La citoquinina es un derivado de la base adenina la cual en su posición N^6 muestra varias sustituciones, la citoquinina tienen la capacidad de iniciar y sustentar la proliferación de tejidos madre cuando eran aplicada sobre organismos vegetales en pequeñas cantidades (Alcantara y Acero 2019). Las actividades biológicas de las citoquininas dependen del sustituyente del N^6, lo que las hace dividir en dos grandes clases: las citoquininas isoprenoidicas y aromáticas. Las citoquininas isoprenoidicas son las familias de la isopenteniladenina (iP), la zeatina (Z) y la dihidrozeatina (DZ), en cambio, las citoquininas aromáticas incluyen las familias de benciladenina (BA), la ortohidroxibenciladenina y la meta-hidroxibenciladenina (Cerezo 2017a).

Las actividades de las citoquininas dependen de la naturaleza química como la del sustituyente del N^6; la presencia de una cadena lateral en N^6 es fundamental para que las citoquininas promuevan la división celular (Cerezo Martínez 2011). No obstante, por lo general las citoquininas a nivel celular pueden iniciar la división celular, que posteriormente formarán tejidos vegetales madre, estas fitohormonas se sintetizan en las células de los ápices radiculares (Gomez y Palencia 2006).

Las citoquininas intervienen en: la formación de vástagos o brotes axilares en yemas apicales multiplicadas *in vitro*, en la apertura de estomas, supresión de la dominancia apical y en la inhibición de la senescencia de las hojas. En el caso del plátano, las citoquininas son claves en la proliferación de brotes y el alargamiento de la planta (Waman et al. 2014). No obstante, un estudio reciente de muestra que en muchas variedades las citoquininas resultan ser más efectivas, si se las emplea combinadas con auxinas (Sipen y Davey 2012). Esto debido a su alta complementariedad en la estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal, por tal motivo si ambas tienen la misma concentración se crearán callos que son una gran cantidad de células no diferenciadas; si existe una

mayor concentración de citoquininas, se promueve la formación de tallos; y por el contrario si existe mayor concentración de auxinas, se promueve la formación de raíces (Alcantara y Acero 2019). La citoquinina más utilizada en laboratorios de cultivo de tejidos vegetales es el 6-Bencilaminopurina (6-BAP).

Cuadro 1

Efecto de fitohormonas en el número de brotes por explante en genotipo de plátano cultivados in vitro.

Regulador de crecimiento	mg L^{-1}	Genotipo	Brotes/ explante	Referencia
BAP	4	Curaré Enano	2.75	Osorio Vega 2019
BAP	4.5	Cultivar Oniaba	13.25	Buah y Tachie-Men 2014
BAP	4.5	Apantupa	11.25	Buah y Tachie-Men 2014
BAP	6	Yangambin	9.55	Ngomuo et al. 2013
BAP + AIA	4.0 + 0.2	Curaré Enano	2.8	Osorio Vega 2019
BAP + ANA	3.0 + 1.00	Simmunds	25.8	Medina M et al. 2015
BAP + Biostan[a]	4.0 + 0.05	Clon Sobrino	2.79	Héctor y Torres 2007
BAP + AIA	4.0 + 0.65	Clon Sobrino	2.42	Héctor y Torres 2007
BAP + AIA	5.0 + 5.00	Dominico Harton	2.25	Hoyos y Roman 2008
BAP + ANA	4.5 + 0.18	Agbagba	14.8	(Feyisola et al. 2015)

Nota. [a]Biostan® (BB-6) brasinoesteroide.

En el cuadro 1 se puede apreciar el uso repetitivo de BAP haciendo uso de 3 mg/L, hasta un máximo de 6 mg/L dependiendo del genotipo cultivado *in vitro*. Podemos hacer énfasis en la

investigación de Buah y Tachie-Men (2014), en la cual probaron dos genotipos diferentes de plátano con la misma dosis de citoquininas, la cual dio diferentes resultados, el genotipo Apantupa dio un resultado de 11.25 brotes por explantes, en cambio el genotipo Cultivar Oniaba dio 13.25, por lo que se puede deducir que, dependiendo del genotipo, reaccionará diferente a los reguladores de crecimiento.

Auxinas en la Multiplicación de Plátano

Las auxinas se encuentran en todos los tejidos de la planta, no obstante, la mayor concentración se encuentra en las regiones que están en crecimiento, el término auxina proviene del griego crecer o incrementar. La síntesis de las auxinas ocurre principalmente en los meristemos apicales (Jordán y Casaretto 2007). La auxina fue la primera hormona que se descubrió, específicamente el ácido indol-3-acético comúnmente llamado AIA. El descubrimiento de la auxina fue importante a mediados del año 1950 debido a que era capaz de alterar el crecimiento de la planta (Cerezo 2017b).

La actividad que realiza la auxina depende de la concentración en cada órgano, esto pone en manifiesto la importancia de los mecanismos los cuales regulan eficazmente la concentración de hormonas en las plantas, con el fin de obtener una concentración óptima. Al momento de hablar de la concentración óptima de auxinas, esta depende de factores claves, los cuales son la velocidad de biosíntesis, conjugación, hidrólisis de los conjugados y oxidación, la intensidad del transporte de llegada y de salida (Cerezo 2017a).

Las auxinas inducen procesos de crecimiento y desarrollo vegetativo, la auxina a nivel celular cumple con el efecto de división y elongación celular, diferenciación celular, promoción división celular meristemática, aumento del contenido osmótico celular, aumenta permeabilidad celular, aumento de producción proteica y disminución de la presión de la pared celular. En cambio, a nivel vegetativo las auxinas tienen el efecto de formación y elongación de tallos, la producción de diferentes raíces adventicias y el aumento de la dominancia apical (Alcantara y Acero 2019).

Las auxinas aceleran la maduración y germinación e induce la floración. No obstante, en propagación *in vitro* las auxinas son indispensables para la formación de raíces, por tal motivo el uso de auxinas se ve más influenciado en la fase de enraizamiento (Alcantara y Acero 2019).

La aplicación de auxinas en conjunto a otros reguladores de crecimiento se concentra en aprovechar su capacidad de enraizante, así se puede usar para la propagación de diferentes materiales genéticos, por ejemplo: plantas frutales, plantas ornamentales e incluso plantas de uso industrial (Borjas et al. 2020).

El balance de citoquininas y auxinas es importante en el coeficiente de multiplicación, con un balance adecuado se pueden lograr altas tazas de multiplicación. El uso de las citoquininas en el medio de cultivo varía de acuerdo con el balance endógeno de auxinas y citoquininas en los explantes. Cuando se inoculan mayores densidades de explantes por frascos, se producen una mayor cantidad de brotes y raíces, debido a que los mismos explantes contienen auxinas y citoquininas que liberan al medio de cultivo (Chavarría y Lopez Gerardo 2010).

Se puede apreciar que hay genotipos de plátano que no es necesario el uso de auxinas, en la investigación de Osorio en el año 2019 se observó como la variedad Curare enano al implementarle 4 mg/L dio un resultado de 2.75 brotes por explante y al momento de agregarle 0.2 mg/L de AIA, aumenta a 2.80 brotes por explante lo cual no es un aumento considerable.

Giberelinas

Las giberelinas (Gas) son hormonas de crecimiento diterpenoides tetracíclicos involucrados en varios procesos de desarrollo en vegetales. El descubrimiento de las giberelinas se remonta a la época de los años 30, cuando científicos japoneses aislaron plantas de arroz causando la enfermedad de bakanoe. A pesar de haber más de 100 el número hallado en plantas, solo son pocas las cuales demuestran actividad biológica. Esta fitohormona puede ser producida por diversos microrganismos como: *Bacillus spp*, *Lactobacillus spp*, *Trichoderma spp*, entre otros (Alcantara y Acero 2019). La mayoría de las giberelinas no posee capacidad como tal para el desarrollo de la planta. Por lo general

todas las giberelinas son productos inactivos o precursores, finales o laterales, de las rutas que sintetizan las giberelinas activas, se dice que las GAs C_{19} que poseen grupos hidroxilo en la posición 3β, como las GAs_1, GAs_4, $giberelinas_3$ y Gas_7 muestran una actividad biológica elevada (Cerezo 2017a).

En la síntesis de las giberelinas se ve involucrado los plastidios, el retículo endoplasmático y el citosol de la célula, también todos los tipos de giberelinas son sintetizados en la ruta del ácido mevalónico, en los plastidios se crea la formación del ent-Kaurene, este se dirige al retículo endoplasmático para transformase en Gas_{12} el cual se transforma en GA_1 y GA_4 las cuales tienen actividad biológica y son formas activas. La giberelina más usada en la agricultura es la GA_3 (Borjas et al. 2020).

Las giberelinas están involucradas en el desarrollo de tejidos que estén en crecimiento constante; en cambio, el ácido giberélico (GA_3) juega un rol importante en la elongación de los segmentos nodales ya que permite estimular la elongación en respuesta a la luz u oscuridad (Alcantara y Acero 2019).

En el caso de las giberelinas en la producción de plátano *in vitro*, no se enfoca tanto en la multiplicación si no, en la elongación y sobrevivencia de las plantas cuando se transfieren a ex vitro y también para mejorar el rendimiento de la planta en el campo (Suarez Padrón et al. 2020).

Brasinoesteroides

Los brasinoesteroides son un tipo de polihidroxiesteroides de lactona con estructura base de brasinólida que comenzaron a ser investigaos a principios de la década de 1979, cuando se dio su descubrimiento en extractos de polen pertenecientes a la especie vegetal colza (*Brassica napus* L.). Dentro de la fisiología vegetal los brasinoesteroides cumplen diferentes funciones porque se encuentran involucrados en la regulación del metabolismo y la señalización celular vegetal (Alcantara y Acero 2019). Se han encontrado más de 70 tipos diferentes de brasinoesteroides de análogos naturales, se dice que los brasinoesteroides son unas de las hormonas más antiguas, debido a que se

han encontrado en diversos organismos que presentan características vegetales como algas y plantas ancestrales (Hernandez y Garcia 2016).

Se sabe que con la aplicación de diferentes tipos de brasinoesteroides se puede controlar la elongación y división celular, el crecimiento de la raíz, la regulación de la fotomorfogénesis, la diferenciación de estomas y sistema vascular, la germinación de semillas, la elongación de vasto vegetal y otras funciones que se relacionan con el control de la inmunidad y reproducción, también pueden disminuir en gran cantidad los cambios de estrés que se provocan por factores bióticos y abióticos dentro del medio de cultivo (Alcantara y Acero 2019).

Héctor y Torres (2007) utilizaron el Biostan (BB-6) un análogo de brasinoesteroides sintetizado a partir de humus de lombriz, el cual se acompañó con BAP para incrementar el índice de multiplicación en el genotipo Clon sobrino (Cuadro 1). Se puede apreciar como el uso de Biostan en combinación a las auxinas con una dosis de 4.0 mg/L de BAP y 0.05 mg/L de Biostan dio un resultado de 2.79 brotes por explante, a comparación del control el cual fue 4 mg/L y 0.65 mg/L de AIA dio un resultado de 2.42 brotes por explante a comparación de la dosis con Biostan.

Organogénesis Directa a Partir de Meristemos

La organogénesis es un evento morfogenético, es la formación de un primordio unipolar a partir de la yema con el subsiguiente desarrollo de un brote vegetativo (Khalid y Tan 2016). La organogénesis directa es una técnica muy utilizada en el cultivo *in vitro*, la cual se consigue estableciendo ápices, yemas, domos y meristemas. Para el cultivo de plátano los explantes que se usan son los meristemas extraídos de cormos.

La organogénesis directa es un método de regeneración de órganos, genera brotes a partir de un explante de forma directa, la organogénesis es una herramienta muy utilizada para producir masivamente plantas libres de enfermedades y con ventaja de obtener características similares; esta vía de regeneración es aconsejable en la micropropagación debido a la uniformidad de las plántulas

producidas, además, que el tiempo de organogénesis directa es más corto a comparación de la organogénesis indirecta (Khalid y Tan 2016).

Medios de Cultivo para Multiplicación *in vitro* de Plátano

El medio de cultivo debe de poseer los componentes básicos para obtener una respuesta adecuada. Estos componentes deben ser: macronutrientes, micronutrientes, fuentes de carbohidratos, vitaminas y reguladores de crecimiento. En el caso de las musáceas el medio de más amplia aceptación es el Murashige y Skoog (MS) (Cuadro 2) enriquecido con vitaminas y reguladores de crecimiento. El medio de cultivo se usa sólido y/o líquido.

Cuadro 2

Medio de cultivo Murashige y Skoog modificado para la multiplicación in vitro de plátano.

Componentes	Fórmula	Nombre común	mg/L
Macroelementos	NH_4NO_3	Nitrato de amonio	1650.000
	KNO_3	Nitrato de potasio	1900.000
	$MgSO_4.7H_2O$	Sulfato de magnesio heptahidratado	370.000
	$CaCl_2.2H_2O$	Cloruro de calcio bihidratado	440.000
	KH_2PO_4	Fosfato monobásico de potasio	170.000
Microelementos	H_3BO_3	Ácido bórico	6.200
	$CoCl_2.6H_2O$	Cloruro de cobalto hexahidratado	0.025
	$CuSO_4.5H_2O$	Sulfato de cobre pentahidratado	0.025
	KI	Yoduro de potasio	0.830
	$MnSO_4.4H_2O$	Sulfato de manganeso tetrahidratado	22.300
	$Na_2MoO_4.2H_2O$	Molibdato de sodio bihidratado	0.250
	$ZnSO_4.7H_20$	Sulfato de zinc heptahidratado	8.600
	FeNa EDTA	Hierro Sodio Etilendiaminotetraacético	50.000
Vitaminas		Inositol	100.000
		Tiamina	0.500
		Piridoxina	0.500
		Ácido Nicotínico	0.500
		Glicina	2.000
		L-Cisteína	2.000
Carbohidratos		Sacarosa	30000.000

Nota. Tomado de Hoyos y Roman (2008)

En diferentes estudios se demuestra que el medio de cultivo Murashige y Skoog incrementa la tasa de multiplicación de brotes de plátano, con un aproximado de cinco brotes a comparación del medio de cultivo Krikorian y Cronauer (Cuadro 3), el cual solo alcanza un aproximado de tres brotes.

Cuadro 3

Medio de cultivo Krikorian y Cronauer modificado para la multiplicación in vitro de plátano.

Componentes	Formula	Nombre comun	mg/L
Macroelementos	$CaCl_2$ $2H_2O$	Cloruro de calcio bihidratado	440.000
	KH_2PO_4	Fosfato monobásico de potasio	170.000
	KNO_3	Nitrato de potasio	1,900.000
	$MgSO_4$ $7H_20$	Sulfato de magnesio heptahidratado	370.000
	NH_4NO_3	Nitrato de amonio	1650.000
	H_3BO_3	Acido borico	6.200
Microelementos	$CoCl_2$ $6H_2O$	Cloruro de cobalto hexahidratado	0.025
	$CuSo_45H_2O$	sulfato de cobre pentahidratado	0.025
	Kl	Yoduro de potasio	0.830
	$MnSO_4$ $4H_2O$	Sulfato de manganeso tetrahidratado	22.300
	$Na_2MoO_42H_2O$	Molibdato de sodio bihidratado	0.250
	$ZnSO_47H_2O$	Sulfato de zinc heptahidratado	8.600
	FeNaEDTA	Sal férrica sódica de ácido Etilendiaminotetraacetico	50.000
Compuestos Orgánicos		Tiamina- HCL	1.000
		Inositol	100.000
		BAP	5.000
		Sacarosa	40000.000

Nota. Tomado de Ubilla Navarro (2017)

Conclusión

El uso de reguladores de crecimiento es fundamental para la multiplicación *in vitro* del plátano, haciendo énfasis en las citoquininas (BAP) que inducen más brotes por explante, con una dosis de 3 a 5 mg/L, dependiendo el genotipo cultivado.

Recomendación

Se recomienda realizar pruebas experimentales según esta revisión de literatura para efectuar la efectividad de los reguladores de crecimiento para obtener dosis específicas de los reguladores de crecimiento para cada genotipo de plátano.

Referencias

Alarcon Restrepo JJ, Jimenez Neira Y. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo de plátano (*Musa* spp.): Medidas para la temporada invernal. Bogotá, Colombia: Produmedios (Línea Agrícola). http://www.fao.org/fileadmin/templates/banana/documents/Docs_Resources_2015/TR4/cartilla-platano-ICA-final-BAJA.pdf.

Alcantara J, Acero J. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. Nova; [consultado el 15 de abr. de 2021]. 17(32):109–129. http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf.

Álvarez Morales EL, León Córdova SA, Sánchez Bravo ML, Cusme Macías BL. 2020. Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. Journal of Business and Antreprenurial Studies. 4(2):86–97. doi:10.37956/jbes.v4i2.78.

Belalcázar Carvajal SL. 1991. El cultivo del plátano (*Musa* AAB Simmonds) en el trópico. 1ª ed. Cali, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). ISBN: 978-9589066720. https://repository.agrosavia.co/themes/Mirage2/scripts/pdfjs/viewer.html?file=/20.500.12324/12434/27529_16556.pdf.

Borjas R, Julca A, Alvaro L. 2020. Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. Journal of the Selva Andina Biosphere; [consultado el 20 de abr. de 2021]. 8(2):150–164. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v8n2/v8n2_a07.pdf.

Buah JN, Tachie-Men JW. 2014. Suitability of Bud Manipulation Technique as an Alternative to Tissue Culture in the Production of Suckers for Plantains and Bananas. Biotechnology. 14(1):41–46. doi:10.3923/biotech.2015.41.46.

Castillo A. 2004. Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. Uruguay: INIA; [actualizado el 2 de may. de 2021]. Serie Actividades de Difusión. http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807102417.pdf.

Cerezo J. 2017a. Fisiología Vegetal: Tema X Giberelinas. [sin lugar]; [consultado el 10 de jun. de 2021]. https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/11/tema-10-giberelinas.pdf.

Cerezo J. 2017b. Fisiología Vegetal: Tema XI Citoquininas. [sin lugar]; [consultado el 8 de jun. de 2021]. https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/11/tema-11-citoquininas.pdf.

Chavarría D, Lopez Gerardo. sep. 2010. Micropropagación de ápices caulinares en Plátano (*Musa* spp. AAB) cultivar Cuerno Gigante [Trabajo de graduación]. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria; [consultado el 7 de jul. de 2021]. https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf02c512m.pdf.

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. FAOSTAT: The Statistics Division of Food and Agriculture. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 18 de feb. de 2021]. http://www.fao.org/faostat/en/.

Feyisola RT, Odutayo OI, Godonu KG, Anteyi WO, Dalamu OP. 2015. IN VITRO proliferation of plantain using different concentration of auxin and cytokinin. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare; [consultado el 10 de jul. de 2021]. 5(1):77–82. https://cutt.ly/3Q3jVes.

Galan V, Rangel A, Lopez J, Hernandez JBP, Sandoval J, Rocha HS. 2018. Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. Revista Brasileira de Fruticultura. 40(4). doi:10.1590/0100-29452018574.

Gomez R, Palencia G. 2006. Manejo sostenible del cultivo del plátano. Luz María Calle Hoyos. Colombia: Produmedios. ISBN: 978-958-8311-18-0. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12888/44209_56458.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Héctor E, Torres A. 2007. Propagación in vitro del plátano macho (*Musa* sp. AAB) clón sobrino con los bioestimulantes cubanos bb-6 y biostan como sustitutos de los reguladores del crecimiento. Cultivos Tropicales; [consultado el 21 de ene. de 2021]. 28(1):13–18. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215858002.

Hernandez E, Garcia I. 2016. Brasinoesteroides en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas; [consultado el 21 de feb. de 2021]. 7(2):441–450. http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n2/2007-0934-remexca-7-02-00441.pdf.

Hoyos J, Roman C. 2008. Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de fitohormonas en la micropropagación del plátano dominico hartón (*Musa* AAB simmonds). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial; [consultado el 17 de jun. de 2021]. 6(2):99–104. http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v6n2/v6n2a13.pdf.

Jordán M, Casaretto J. 2007. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. En: Squeo FA, Cardemil L, editores. Fisiología Vegetal. 1ª ed. Chile: Departamento de Biología. p. 1–28. http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf.

Khalid N, Tan BC. 2016. A to Z on Banana Micropropagation and Field Practices. En: Anis M, Ahmad N, editores. Plant Tissue Culture: Propagation, Conservation and Crop Improvement. Singapore: Springer Singapore. p. 101–118.

Medina M, Medina C, Medina LK. 2015. Propagación *in vitro* de Musa acuminata (Simmunds) plátano bocadillo del Chocó, Colombia, a partir del cultivo de meristemos apicales. Revista Biodiversidad Neotropical; [consultado el 13 de jun. de 2021]. 5(1):47–53. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5168113.

Ngomuo M, Mneney E, Ndakidemi P. 2013. The Effects of Auxins and Cytokinin on Growth and Development of (*Musa* sp.) Var. "Yangambi" Explants in Tissue Culture. American Journal of Plant Sciences. 04(11):2174–2180. doi:10.4236/ajps.2013.411269.

Osorio Vega SM. nov. 2019. Establecimiento *in vitro* de plátano (*Musa* × *paradisiaca* L.) cv. "Curaré enano" [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 27 de jul. de 2019]. https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6618/1/CPA-2019-T056.pdf.

Palencia G, Gómez R, Martín J. 2006. Manejo Sostenible del Cultivo del Plátano. Luz María Calles Hoyos. Bucaramanga, Colombia: Produmedios. 28 p. ISBN: 978-958-8311-18-0; [consultado 6/13/2021]. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12888/44209_56458.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Sipen P, Davey MR. 2012. Effects of N(6)-benzylaminopurine and Indole Acetic Acid on In Vitro Shoot Multiplication, Nodule-like Meristem Proliferation and Plant Regeneration of Malaysian Bananas (*Musa* spp.). Trop Life Sci Res; [consultado el 25 de jun. de 2021]. 23(2):67–80. eng. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3799403/.

Staver C, Lescot T. 2015. La propagación de material de siembra de calidad para mejorar la salud y productividad del cultivo. Pascal Chaput. Francia: [sin editorial]. https://agritrop.cirad.fr/576540/

1/La_propagacion_de_material_de_siembra_de_calidad_para_mejorar_la_salud_y_productividad_del_cultivo_1893.pdf.

Suarez Padrón IE, Perez Meza PM, López Díaz CM. 2020. Evaluation of sucrose and GA3 in an in vitro shoot culture of *Alpinia purpurata*. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 21(2):1–12. doi:10.21930/rcta.vol21_num2_art:1193.

Waman AA, Bohra P, Sathyanarayana BN. 2014. Not all sugars are sweet for banana multiplication. In vitro multiplication, rooting, and acclimatization of banana as influenced by carbon source-concentration interactions. In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant. 50(5):552–560. doi:10.1007/s11627-014-9623-3.